中南大学

《数据结构》课程实验

实验报告

实验题目 二叉树的基本操作

专业班级 软件工程 2005 班

学　　号 8209200504

姓　　名 李均浩

实验成绩：

批阅教师：

2021 年 4 月 15 日

一、需求分析

1.程序任务

1、根据输入的数据建立一个二叉树；
2、分别采用前序、中序、后序的遍历方式显示输出二叉树的遍历结果
3、采用非递归的编程方法，分别统计二叉树的节点个数、度为 1、度为 2 和叶子节点的个数，以及数据值的最大值和最小值。
4、按层次顺序遍历二叉树。

2.输入以及输出的形式

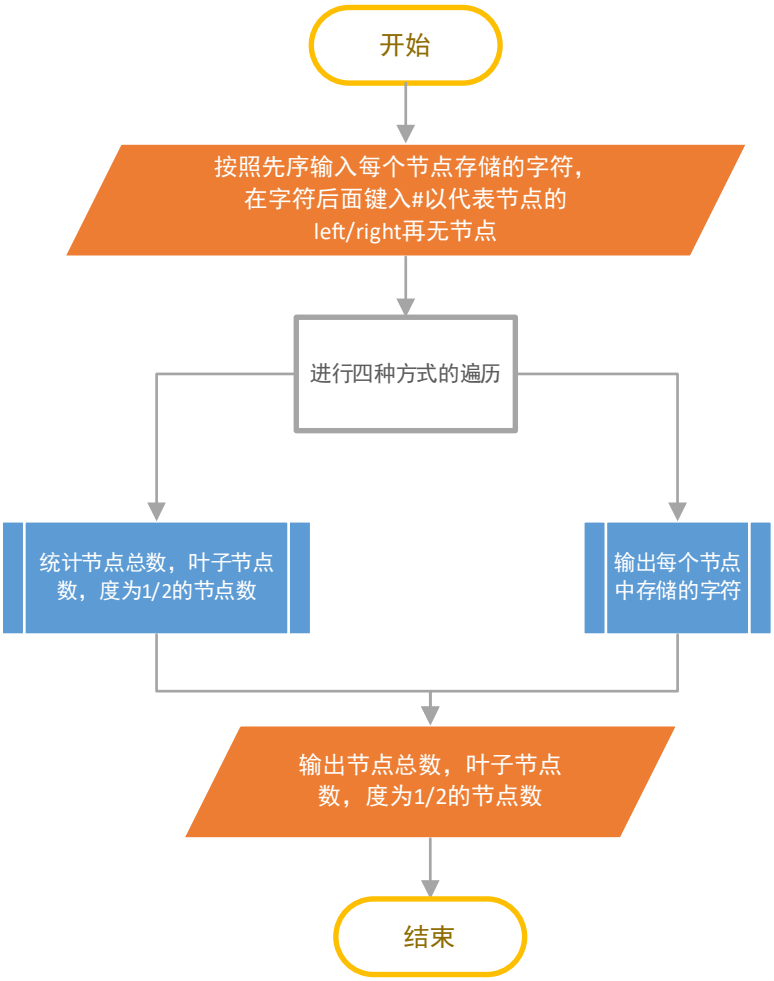


图 1 程序输入输出形式

3.程序功能

实现对二叉树的创建、遍历、以及节点总数，叶子节点数，度为 1、2 的节点数的统计。

4.测试数据

(a) +**/A##B##C##D##E##
预期输出：
递归方法的先序遍历的结果：
+**/ABCDE
递归方法的中序遍历的结果：
A/B*C*D+E
递归方法的后序遍历的结果：
AB/C*D*E+

非递归方法的先序遍历的结果：
+**/ABCDE
非递归方法的中序遍历的结果：
A/B*C*D+E
非递归方法的后序遍历的结果：
AB/C*D*E+

使用队列按层次遍历的结果：
+*E*D/CAB

利用递归方法查找到的二叉树的节点总数为：9
非递归方法查找到的二叉树的节点总数为：9
非递归方法查找到的二叉树度为 2 的节点总数为：4
非递归方法查找到的二叉树度为 1 的节点总数为：0
非递归方法查找到的二叉树叶子节点总数为：5
二叉树中数值最小的元素数值为：42　　转换为原始类型即：*
二叉树中数值最大的元素数值为：69　　转换为原始类型即：E

(b) ab#cdefg######
递归方法的先序遍历的结果：
abcdefg
递归方法的中序遍历的结果：
bgfedca
递归方法的后序遍历的结果：
gfedcba

非递归方法的先序遍历的结果：
abcdefg
非递归方法的中序遍历的结果：
bgfedc
非递归方法的后序遍历的结果：
gfedcba

使用队列按层次遍历的结果：
abcdefg

利用递归方法查找到的二叉树的节点总数为：7
非递归方法查找到的二叉树的节点总数为：7
非递归方法查找到的二叉树度为 2 的节点总数为：0
非递归方法查找到的二叉树度为 1 的节点总数为：6
非递归方法查找到的二叉树叶子节点总数为：1
二叉树中数值最小的元素数值为：97　　转换为原始类型即：a
二叉树中数值最大的元素数值为：103　　转换为原始类型即：g

(c)a##
预期输出：
递归方法的先序遍历的结果：
a
递归方法的中序遍历的结果：
a
递归方法的后序遍历的结果：
a

非递归方法的先序遍历的结果：
a
非递归方法的中序遍历的结果：
a
非递归方法的后序遍历的结果：
a

使用队列按层次遍历的结果：
a

利用递归方法查找到的二叉树的节点总数为：1
非递归方法查找到的二叉树的节点总数为：1
非递归方法查找到的二叉树度为 2 的节点总数为：0
非递归方法查找到的二叉树度为 1 的节点总数为：0
非递归方法查找到的二叉树叶子节点总数为：1
二叉树中数值最小的元素数值为：97　　转换为原始类型即：a
二叉树中数值最大的元素数值为：97　　转换为原始类型即：a

二、概要设计

1.抽象数据类型定义：

ADT BinaryTree {
数据对象集：一个有穷的结点集合。
若不为空，则由根结点和其左、右二叉子树组成。

操作集：{BT ∈ BinTree, Item ∈ElementType}
bool IsEmpty(BinTree BT)： 判别 BT 是否为空；
void Traversal(BinTree BT)：遍历，按某顺序访问每个结点；
BinTree CreatBinTree( )：创建一个二叉树。
void PreOrderTraversal(BinTree BT)：先序----根、左子树、右子树；
void InOrderTraversal(BinTree BT)： 中序—左子树、根、右子树；
void PostOrderTraversal(BinTree BT)：后序—左子树、右子树、根
void LevelOrderTraversal(BinTree BT)：层次遍历，从上到下、从左到右
}

2.主程序的流程

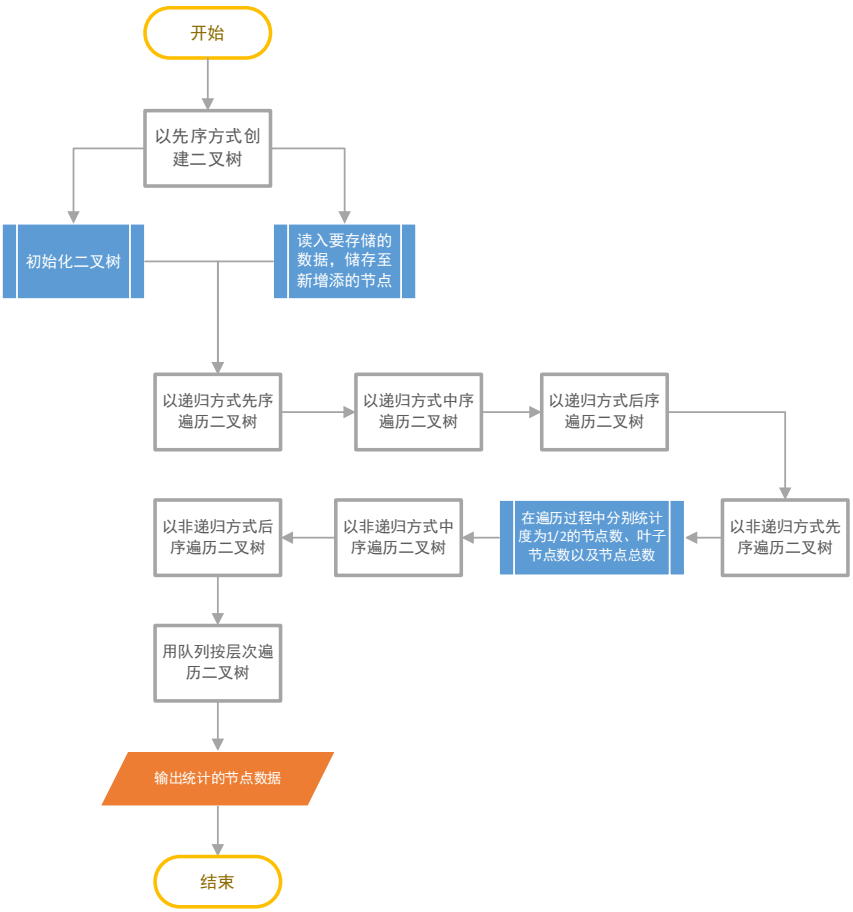


图 2 主程序的流程

三、详细设计

1.模块伪码

(1) //创建二叉树节点

```
Node create Begin
    输出 "create() is called!" ;
    Node n;
    DataType temp_var;
    temp_var = getchar();
    如果(temp_var == '#')
        返回 空指针;
    n = (转换为 Node)申请内存块 (大小为(TreeNode));
    如果(n == 空指针)
        exit(OVERFLOW);
    n->data = temp_var;
    n->pre_order_counted_times = 0;
    n->in_order_isCounted = false;
    n->post_order_isCounted = false;
    n->left = create();
    n->right = create();
    return n;
   End
```

(2) //元素出队

```
Status DelQueue(SqQueue* Q, QElemType* e) Begin
    如果 (Q->front == Q->rear)//队列空
        返回 ERROR;
    *e = Q->data[Q->front];//返回队头元素
    Q->front = (Q->front + 1) % QUEUE_MAXSIZE;//队头指针后移，如到最后转到头部
    返回 SUCCESS;
End
```

(3) //在队尾插入元素

```
Status EnterQueue(SqQueue* Q, QElemType e) Begin
    如果 ((Q->rear + 1) % QUEUE_MAXSIZE == Q->front)//队列已满
        返回 ERROR;
    Q->data[Q->rear] = e;//插入队尾
    Q->rear = (Q->rear + 1) % QUEUE_MAXSIZE;//尾部指针后移，如果到最后则转到头部
    返回 SUCCESS;
End
```

(4) //返回队头元素

```
Status GetHead(SqQueue Q, QElemType* e) Begin
    如果 (Q.front == Q.rear)//是否为空队列
        返回 ERROR;
    *e = Q.data[Q.front];
    返回 SUCCESS;
End
```

(5) //非递归中序遍历

```
void in_order_stack_traverse(Tree t) Begin
    Stack s;
    InitStack(s);
    Node n = t.root;
    如果 (n->left == 空指针 并且 n->right == 空指针)
    {
        访问(n);
        返回;
    }
    一直循环
    {
        如果(n->left != 空指针&& !n->left->in_order_isCounted)
        {
            入栈(s, n);
            n = n->left;
            迭代;
        }
        否则
        {
            如果(!n->in_order_isCounted)
            {
                访问(n);
                n->in_order_isCounted = true;
            }
            如果(n->right != 空指针&& !n->right->in_order_isCounted)
            {
                入栈(s, n);
                n = n->right;
                迭代;
            }
            出栈(s, n);
        }
        如果(栈为空(s))
        {
            如果(n->left != 空指针&& n->right != 空指针 && n->left->in_order_isCounted
```

```
&&
                n->right->in_order_isCounted)
                返回;
            if (n->left != 空指针&& n->right == 空指针 && n->left->in_order_isCounted)
                return;
            if (n->left == 空指针&& n->right != 空指针 &&
n->right->in_order_isCounted)
                返回;
        }
    }
End
```

(6) //中序递归遍历

```
Status in_order_traverse(Node n) Begin
    如果 (n == 空指针)
        返回 NULL;
    in_order_traverse(n->left);//递归
    访问(n);
    in_order_traverse(n->right);
    返回 SUCCESS;
End
```

(7) //初始化空队列

```
Status InitQueue(SqQueue* sQ) Begin
    sQ->front = 0;
    sQ->rear = 0;
    返回 SUCCESS;
End
```

(8) //初始化一个栈

```
Status InitStack(Stack& s) Begin
    s.base = (转换为 Elemtype*)申请内存块 大小为(预先设定的栈初始化大小 *
sizeof(Elemtype));
    如果 (s.base == 空指针)
    {
        弹出错误("Unable to allocate to memory space");
        退出(代码为 OVERFLOW);
    }
    否则 {
        s.top = s.base;
        s.stack_size = 预先设定的栈初始化大小;
        返回 SUCCESS;
    }
End
```

(9) //出栈

```
Status Pop(Stack& s, Elemtype& e) Begin
    如果 (s.top == s.base)
    {
        返回 ERROR;
    }
    否则
    {
        s.top--;
        e = *s.top;
        返回 SUCCESS;
    }
End
```

(10) //非递归方式后序遍历

```
void post_order_stack_traverse(Tree t) Begin
    Node n;
    n = t.root;
    Stack s;
    InitStack(s);
    如果 (n->left == 空指针 && n->right == 空指针 )
    {
        访问(n);
        返回;
    }
    持续循环
    {
        如果 (n->left != 空指针 && !n->left->post_order_isCounted)
        {
            入栈 (s, n);
            n = n->left;
            迭代;
        }
        否则
        {
            如果(n->right != 空指针 && !n->right->post_order_isCounted)
            {
                入栈(s, n);
                n = n->right;
                迭代;
            }
            否则
            {
```

```
                如果 (!n->post_order_isCounted)
                {
                    访问(n);
                    n->post_order_isCounted = true;
                }
                出栈(s, n);
            }
        }
        如果 (栈为空(s))
        {
            如果(n->left != 空指针 && n->right != 空指针 &&
n->left->post_order_isCounted &&
                n->right->post_order_isCounted && n->post_order_isCounted)
                返回 ;
            如果 (n->left != 空指针 && n->right == 空指针 &&
n->left->post_order_isCounted && n->post_order_isCounted)
                返回 ;
            如果 (n->left == 空指针 && n->right != 空指针 &&
n->right->post_order_isCounted && n->post_order_isCounted)
                返回 ;
        }
    }
End
```

(11) //后序递归遍历

```
Status post_order_traverse(Node n) Begin
    如果 (n == 空指针 )
        返回 NULL;
    post_order_traverse(n->left);
    post_order_traverse(n->right);
    访问(n);
    return SUCCESS;
End
```

(12) //非递归先序遍历并统计节点数据

```
void pre_get_node_info(Tree t) Begin
    Node n = t.root;
    Stack node_stack;
    InitStack(node_stack);
    持续循环
    {
        如果(n == t.root)
        {
            如果(t.root->left != 空指针 && t.root->right != 空指针)
```

```
        {
            if (t.root->pre_order_counted_times == 0)
            {
                max_elem = 转换为<int>(t.root->data);//在根节点初始化最大值，最小
值基准
                min_elem = 转换为<int>(t.root->data);
                degree_2_node_amount++;
                访问(n);
                node_amount++;
                t.root->pre_order_counted_times++;
                Push(node_stack, t.root);
                n = t.root->left;
                迭代;
            }
            如果(t.root->pre_order_counted_times == 1)
            {
                t.root->pre_order_counted_times++;
                Push(node_stack, t.root);
                n = t.root->right;
                迭代;
            }
            如果 (t.root->pre_order_counted_times == 2)
            {
                跳出循环;
            }
        }
        如果(t.root->left != 空指针 && t.root->right == 空指针 )
        {
            如果 (t.root->pre_order_counted_times == 0)
            {
                max_elem = 转换为<int>(t.root->data);//在根节点初始化最大值，最小
值基准
                min_elem = 转换为<int>(t.root->data);
                degree_1_node_amount++;
                访问(n);
                node_amount++;
                t.root->pre_order_counted_times++;
                入栈(node_stack, t.root);
                n = t.root->left;
                迭代;
            }
            if (t.root->pre_order_counted_times == 1)
            {
                跳出循环;
```

```
                }
            }
            如果(t.root->left == 空指针 && t.root->right != 空指针)
            {
                如果(t.root->pre_order_counted_times == 0)
                {
                    max_elem = 转换为<int>(t.root->data);//在根节点初始化最大值，最小
值基准
                    min_elem = 转换为<int>(t.root->data);
                    degree_1_node_amount++;
                    访问(n);
                    node_amount++;
                    t.root->pre_order_counted_times++;
                    入栈(node_stack, t.root);
                    n = t.root->right;
                    迭代;
                }
                如果(t.root->pre_order_counted_times == 1)
                {
                    跳出循环;
                }
            }
            如果(t.root->left == 空指针 && t.root->right == 空指针)
            {
                max_elem = 转换为<int>(t.root->data);//最大/最小值皆为根节点本身
                min_elem = 转换为<int>(t.root->data);
                leaf_node_amount++;
                访问(n);
                node_amount = 1;
                跳出循环;
            }
        }

        如果(n->left != nullptr && n->right != nullptr && n != t.root)
        {
            如果 (n->pre_order_counted_times == 0)
            {
                如果 (static_cast<int>(n->data) > max_elem)
                    max_elem = n->data;
                如果 (static_cast<int>(n->data) < min_elem)
                    min_elem = n->data;
                degree_2_node_amount++;
                访问(n);
                node_amount++;
```

```
            n->pre_order_counted_times++;
            入栈(node_stack, n);
            n = n->left;
            迭代;
        }
        如果 (n->pre_order_counted_times == 1)
        {
            n->pre_order_counted_times++;
            Push(node_stack, n);
            n = n->right;
            迭代;
        }
        如果 (n->pre_order_counted_times == 2)
        {
            出栈(node_stack, n);
        }
    }
    如果(n->left != nullptr && n->right == nullptr)
    {
        如果(n->pre_order_counted_times == 0)
        {
            如果 (static_cast<int>(n->data) > max_elem)
                max_elem = n->data;
            如果 (static_cast<int>(n->data) < min_elem)
                min_elem = n->data;
            degree_1_node_amount++;
            访问(n);
            node_amount++;
            n->pre_order_counted_times++;
            入栈(node_stack, n);
            n = n->left;
            迭代;
        }
        如果 (n->pre_order_counted_times == 1)
        {
            出栈(node_stack, n);
            迭代;
        }
    }
    如果(n->left == 空指针 && n->right != 空指针)
    {
        如果(n->pre_order_counted_times == 0)
        {
            如果(转换为<int>(n->data) > max_elem)
```

```
                    max_elem = n->data;
                如果(转换为<int>(n->data) < min_elem)
                    min_elem = n->data;
                degree_1_node_amount++;
                访问(n);
                node_amount++;
                n->pre_order_counted_times++;
                入栈(node_stack, n);
                n = n->right;
                迭代;
            }
            如果(n->pre_order_counted_times == 1)
            {
                出栈(node_stack, n);
                迭代;
            }
        }
        如果(n->left == 空指针 && n->right == 空指针)
        {
            如果(转换为<int>(n->data) > max_elem)
                max_elem = n->data;
            如果(static_cast<int>(n->data) < min_elem)
                min_elem = n->data;
            leaf_node_amount++;
            访问(n);
            node_amount++;
            出栈(node_stack, n);
        }
    }
End
```

(13) //先序递归遍历

```
Status pre_order_traverse(Node n) Begin
    如果 (n == 空指针)
        返回 NULL;
    访问 (n);
    pre_order_traverse(n->left);
    pre_order_traverse(n->right);
    返回 SUCCESS;
End
```

(14) //将新的元素推入栈中

```
Status Push(Stack& s, Elemtype e) Begin
    if ((s.top - s.base) >= s.stack_size) {//检查是否栈存满
```

```
        //重新追加空间，大小为STACK_INCREMENT
        s.base = (Elemtype*)realloc(s.base, s.stack_size + STACK_INCREMENT);
        //检查时是否成功分配到了内存空间
        if (s.base == nullptr)
        {
            perror("Unable to allocate to memory space");
            exit(OVERFLOW);
        }
        //更新栈顶位置和栈大小(stack_size)记录
        s.top = s.base + s.stack_size;
        s.stack_size = s.stack_size + STACK_INCREMENT;
    }
    //*s.top++ = e;
    *s.top = e;
    s.top++;
    return SUCCESS;
End
```

(15) //遍历队列

```
Status queue_traverse(Node n) Begin
    如果 (n == root_node && n->left == 空指针 && n->right == 空指针)
    {
        访问(n);
        返回 SUCCESS;
    }
    访问(n);
    如果 (n->left != 空指针)
        EnterQueue(&q, n->left);
    如果 (n->right != 空指针)
        EnterQueue(&q, n->right);
    如果 (QueueEmpty(q) && n != root_node)
        return SUCCESS;
    出队(&q, &n);
    queue_traverse(n);
End
```

(16) //访问队列

```
Status queue_visit(QElemType item) Begin
    printf("%p", item);
    return SUCCESS;
End
```

(16) //判断队列是否为空

```
Status QueueEmpty(SqQueue Q) Begin
```

```
    如果 (Q.front == Q.rear)
        返回 TRUE;
    否则
        返回 FALSE;
End
```

(17) //判断栈是否为空

```
Status StackEmpty(Stack s) Begin
    如果 (s.base == s.top)
        返回 TRUE;
    否则
        返回 FALSE;
End
```

(18) //访问二叉树节点并输出储存的数据

```
void visit(Node n) Begin
    输出 << n->data;
End
```

2.函数调用关系图

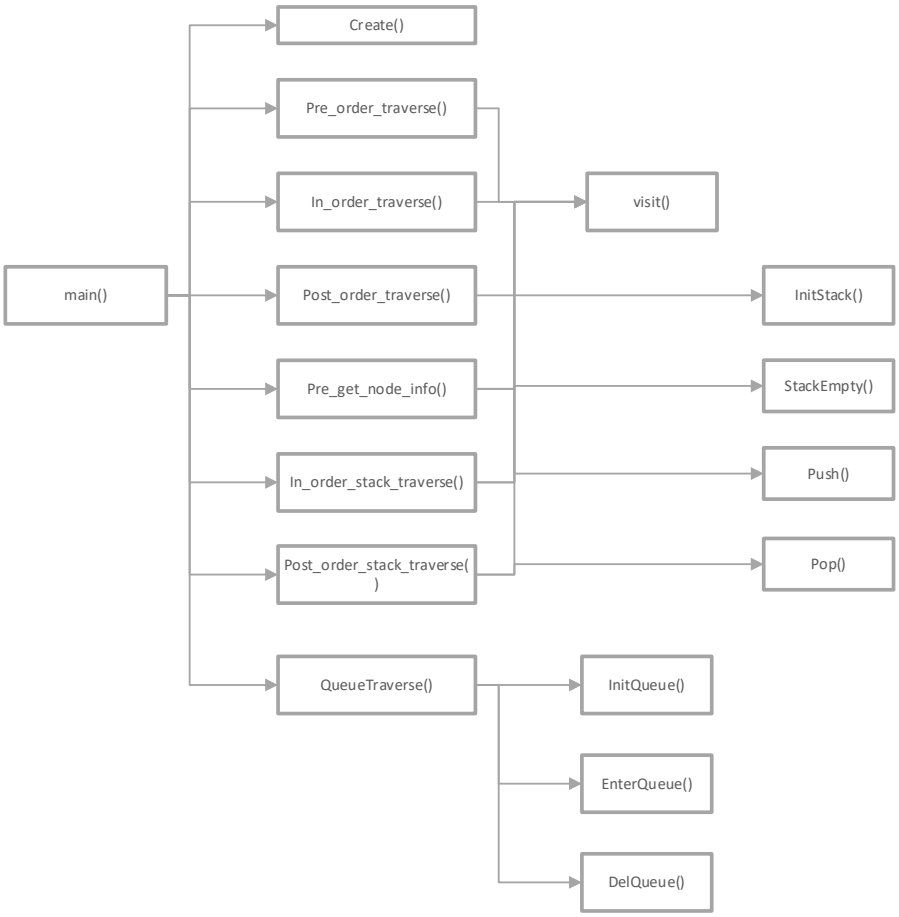


图 3 函数调用关系图

四、调试分析

1.问题复现

(1) 非递归后序遍历不完全

(a)错误信息

```
递归方法的后序遍历的结果：
AB/C*D*E+
非递归方法的后序遍历的结果：
AB/C*D*
```

(b)错误源码

```
        else
        {
            if (!n->post_order_isCounted)
            {
                visit(n);
                n->post_order_isCounted = true;
            }
            Pop( &: s,  &: n);
        }
    }
    if (StackEmpty(s))
    {
            return;
    }
```

(c)错误解释

在左子树遍历完毕后，进行了出栈操作，此时栈为空，在 if (StackEmpty(s))判断中return，然而此时根节点以及右子树尚未遍历。

(d)解决方案

增加 if (StackEmpty(s))中的判断条件，如下图所示：

```
if (StackEmpty(s))
{
    if (n->left != nullptr && n->right != nullptr && n->left->post_order_isCounted &&
        n->right->post_order_isCounted && n->post_order_isCounted)
        return;
    if (n->left != nullptr && n->right == nullptr && n->left->post_order_isCounted && n->post_order_isCounted)
        return;
    if (n->left == nullptr && n->right != nullptr && n->right->post_order_isCounted && n->post_order_isCounted)
        return;
}
```

2. 算法的时空分析

(1)改进设想

部分判断条件分类可以合并，以减少操作的繁琐。

程序编写中有部分变量可以通过一定方式省去，能节省运行占用的空间。

3. 经验与体会

树与二叉树是经常会使用到的数据结构，这次的实验加深了我对二叉树的认识，让我对树的遍历有了更加深刻的理解，感受到了递归这种简洁的算法设计方式的奇妙之处。在遍历时要对情况分好类，仔细设定好判断条件，避免出现本次实验过程中的遍历不完全的问题。

五、用户使用说明

1.按照提示输入二叉树的节点数据，每个节点存储一个字符，使用’#’代表二叉树分支的终结。

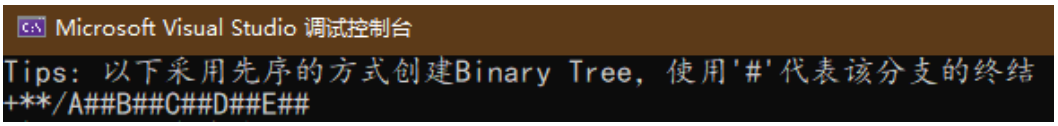


图 4.1 程序输入演示

2.从控制台获得二叉树的遍历结果、度为 1/2 的节点数，叶子节点数，总结点数，数值最大/小元素的信息。

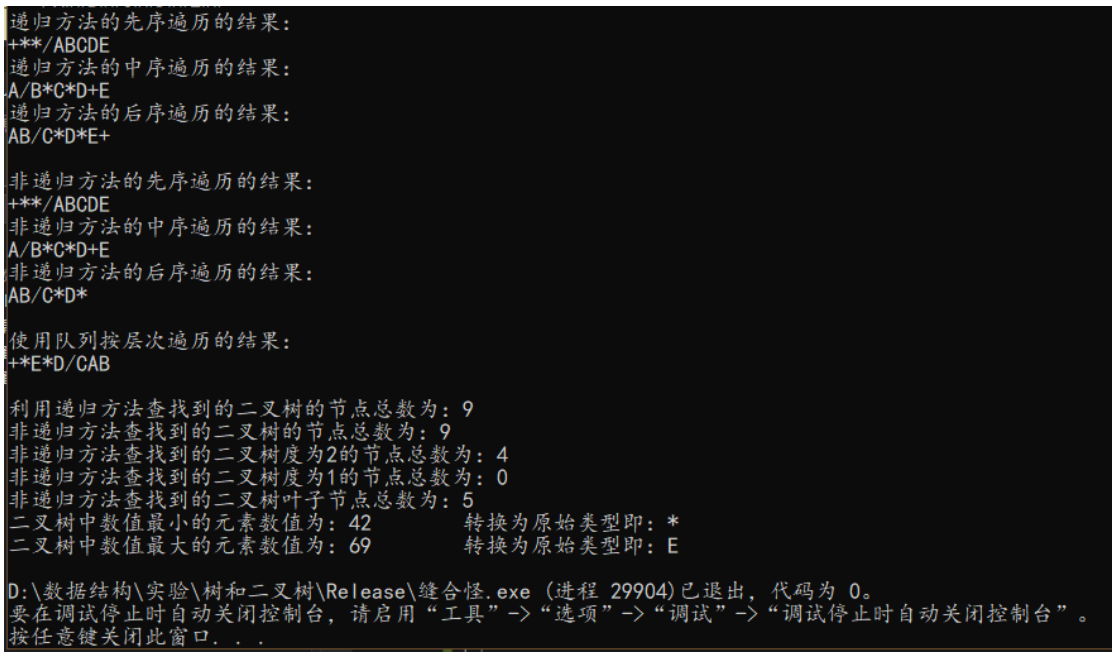
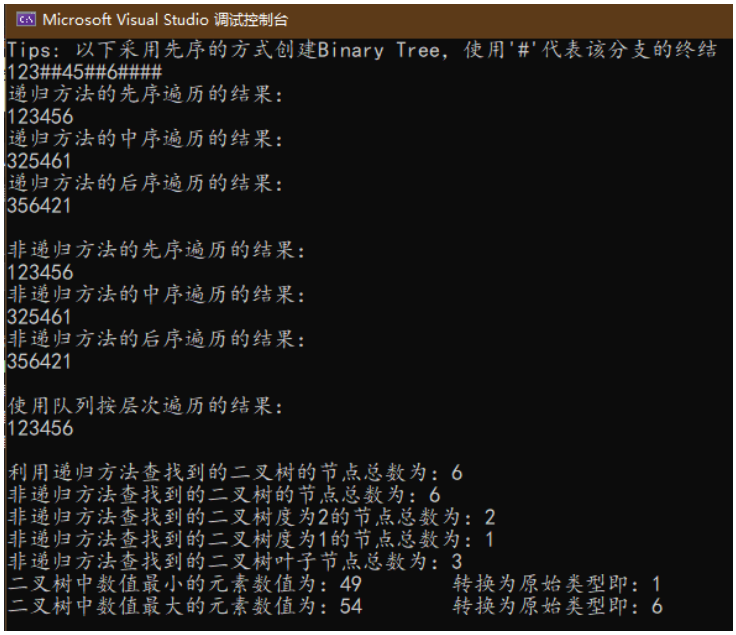


图 4.2 程序运行结果

六、测试结果

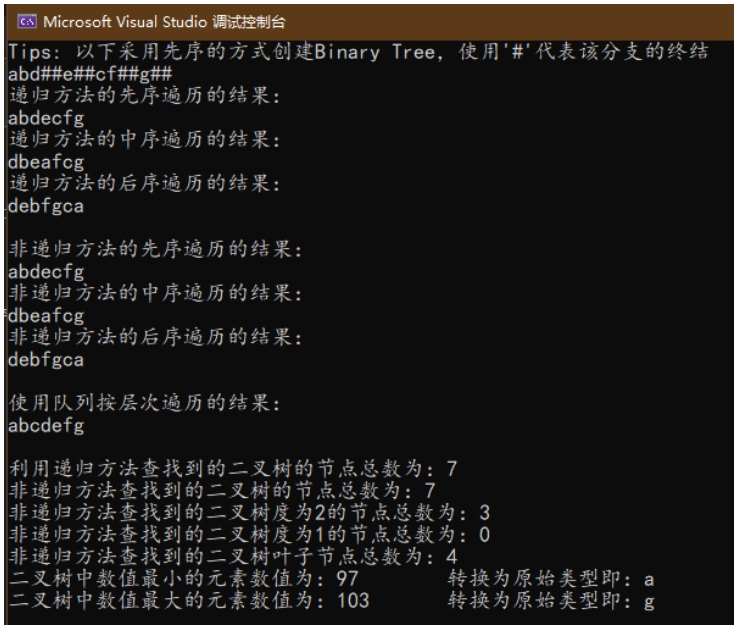
(1)输入：123##45##6####

输出：

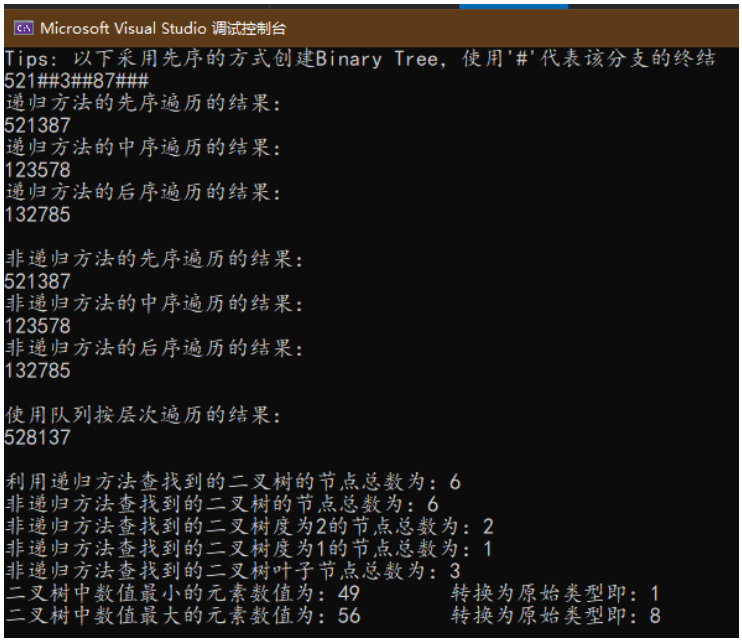


(2)输入：abd##e##cf##g##

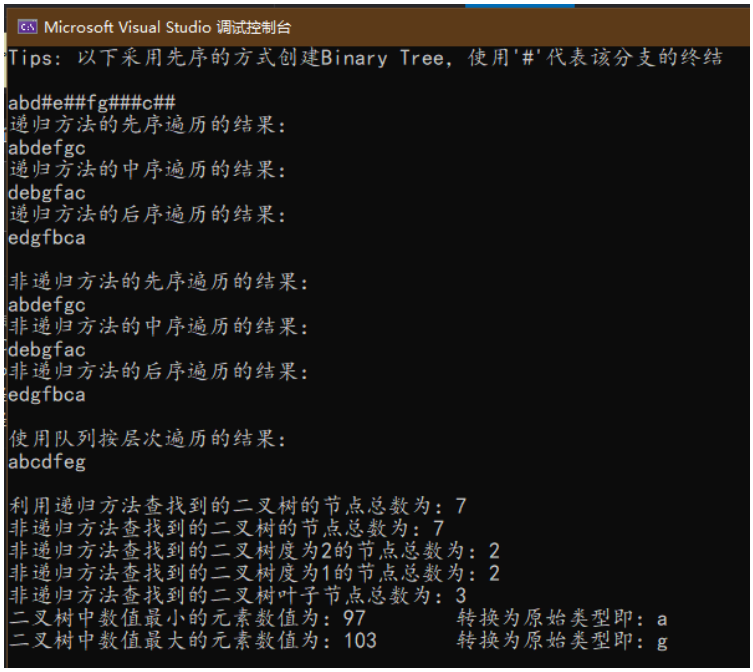
输出：



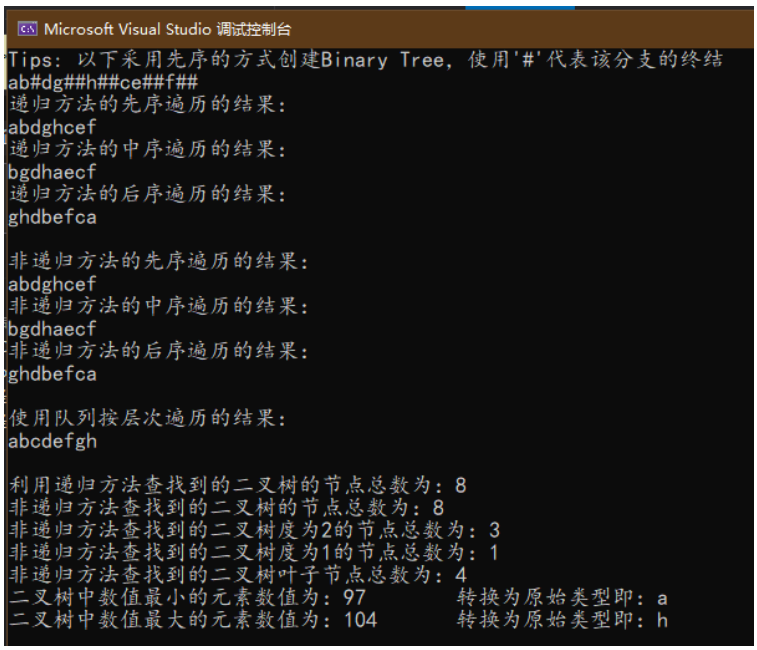
(3)输入：521##3##87###
输出：



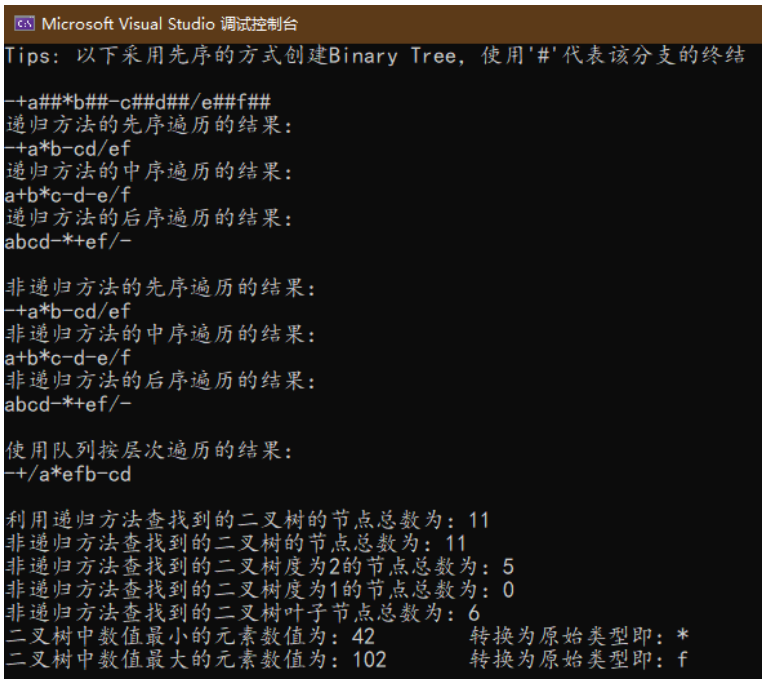
(4)输入：abd#e##fg###c##
输出：



(5)输入：ab#dg##h##ce##f##
输出：

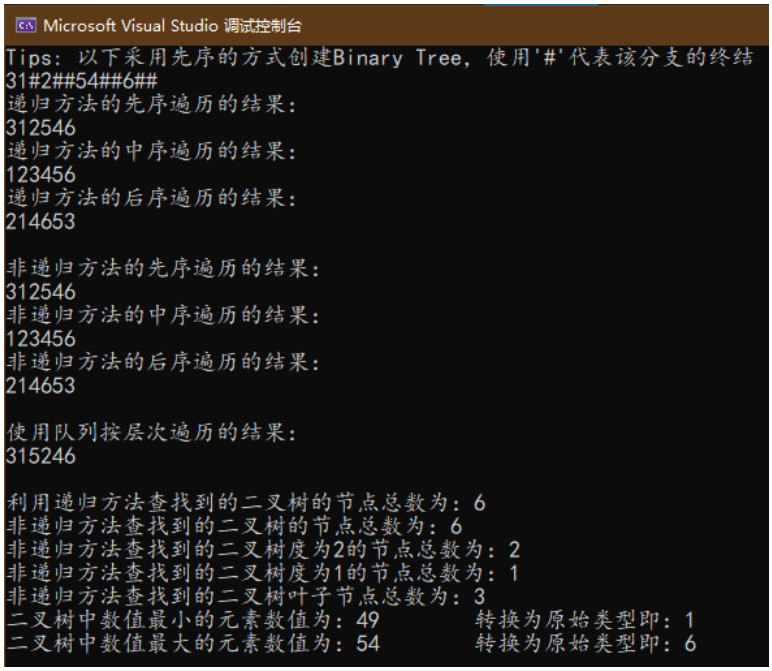


(6)输入：-+a##*b##-c##d##/e##f##
输出：



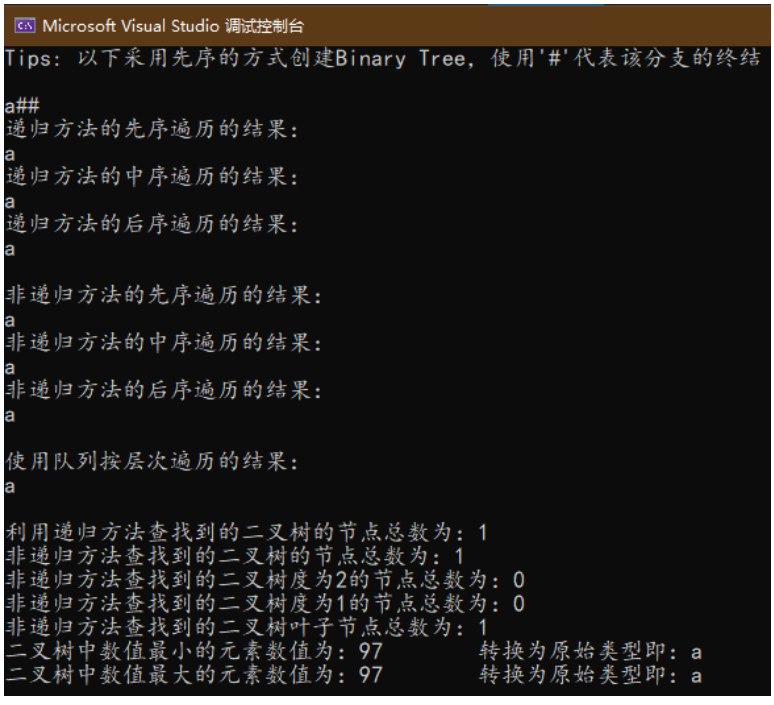
(7)输入：31#2##54##6##

输出：



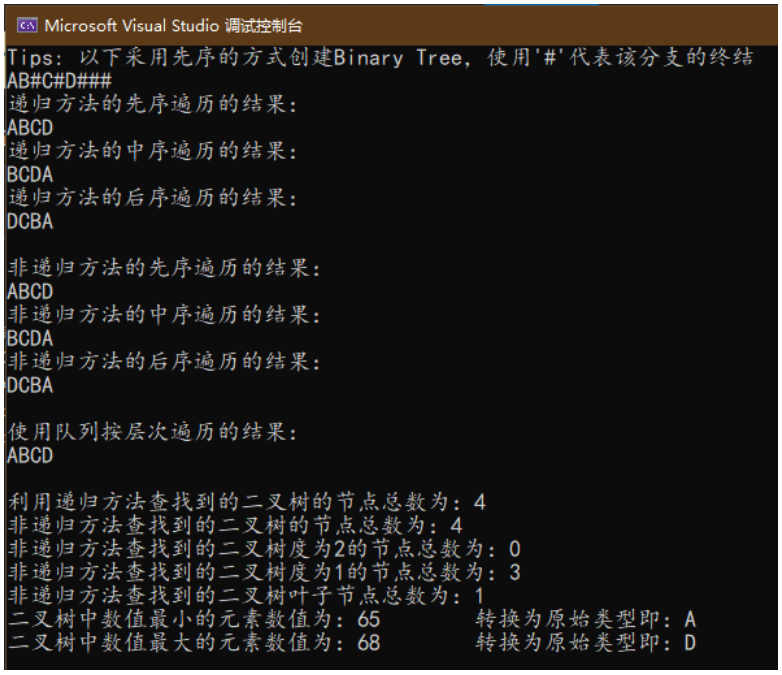
(8)输入：a##

输出：



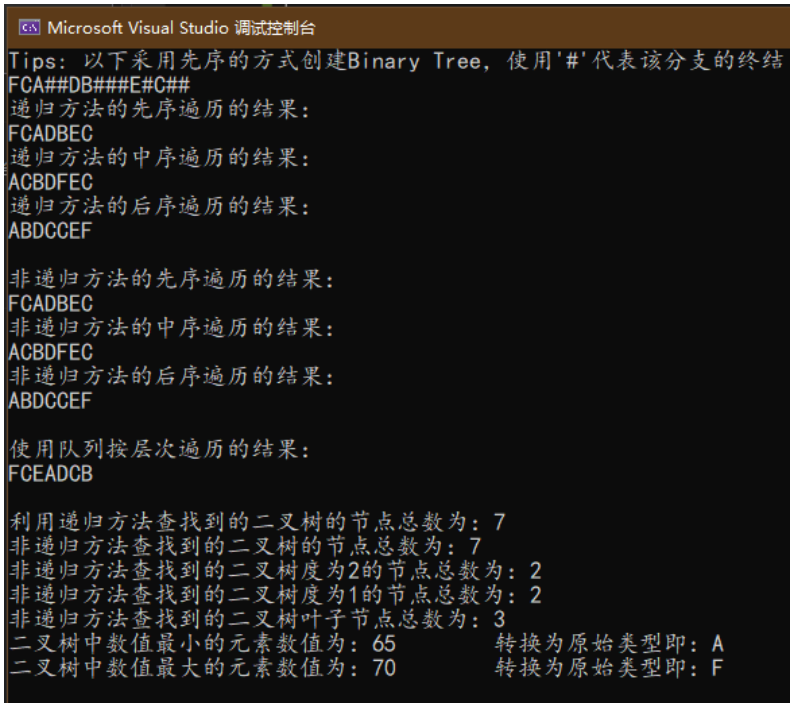
(9)输入：AB#C#D###

输出：



(10)输入：FCA##DB###E#C##

输出：



七、附录

```
#include <iostream>
#include <malloc.h>
#include <cstdio>
#include<cassert>

#define ERROR 0
#define SUCCESS 1
#define TRUE 1
#define FALSE 0
#define STACK_INIT_SIZE 300
#define STACK_INCREMENT 10
#define QUEUE_MAXSIZE 100

//ERROR_EXIT_CODE
#define  UNKNOWN_ERROR 0x474544D8

//开启DEBUG输出
#define DEBUG_MODE_ON

typedef int Status;
typedef char DataType;

//全局变量
int node_amount = 0;
int degree_1_node_amount = 0;
int degree_2_node_amount = 0;
int leaf_node_amount = 0;
long long signed int max_elem;
long long signed int min_elem;

//二叉树节点
typedef struct TreeNode
{
    TreeNode* left;
    TreeNode* right;
    DataType data;

    int pre_order_counted_times;
    bool in_order_isCounted;
    bool post_order_isCounted;
}*Node;
```

```c
//二叉树
typedef struct BinaryTree
{
    Node root;
    int node_amount;
}Tree;


//循环队列的顺序存储结构
typedef Node QElemType;

typedef struct {
    QElemType data[QUEUE_MAXSIZE];
    int front; //头指针
    int rear;//尾指针，队列非空时，指向队尾元素的下一个位置
}SqQueue;

//访问队列
Status queue_visit(QElemType item) {
    printf("%p", item);
    return SUCCESS;
}

//初始化空队列
Status InitQueue(SqQueue* sQ) {
    sQ->front = 0;
    sQ->rear = 0;
    return SUCCESS;
}

//将队列清空
Status ClearQueue(SqQueue* Q) {
    Q->front = Q->rear = 0;
    return SUCCESS;
}

//判断队列是否为空
Status QueueEmpty(SqQueue Q) {
    if (Q.front == Q.rear)
        return TRUE;
    else
        return FALSE;
}
```

```c
//返回队列中的元素个数
int QueueLength(SqQueue Q) {
    return (Q.rear - Q.front + QUEUE_MAXSIZE) % QUEUE_MAXSIZE;
}

//返回队头元素
Status GetHead(SqQueue Q, QElemType* e) {
    if (Q.front == Q.rear)//是否为空队列
        return ERROR;
    *e = Q.data[Q.front];
    return SUCCESS;
}

//在队尾插入元素
Status EnterQueue(SqQueue* Q, QElemType e) {
    if ((Q->rear + 1) % QUEUE_MAXSIZE == Q->front)//队列已满
        return ERROR;

    Q->data[Q->rear] = e;//插入队尾
    Q->rear = (Q->rear + 1) % QUEUE_MAXSIZE;//尾部指针后移，如果到最后则转到头部
    return SUCCESS;
}

//元素出队
Status DelQueue(SqQueue* Q, QElemType* e) {
    if (Q->front == Q->rear)//队列空
        return ERROR;
    *e = Q->data[Q->front];//返回队头元素
    Q->front = (Q->front + 1) % QUEUE_MAXSIZE;//队头指针后移，如到最后转到头部
    return SUCCESS;
}

//遍历队列元素
Status QueueTraverse(SqQueue Q) {
    int i = Q.front;
    while ((i + Q.front) != Q.rear) {
        queue_visit(Q.data[i]);
        i = (i + 1) % QUEUE_MAXSIZE;
    }
    printf("\n");
    return SUCCESS;
}
```

```
//以下为栈模块
typedef Node Elemtype;

typedef struct SqStack
{
    Elemtype* base;
    Elemtype* top;
    int stack_size;
}Stack;

//初始化一个栈
Status InitStack(Stack& s)
{
    s.base = (Elemtype*)malloc(STACK_INIT_SIZE * sizeof(Elemtype));
    if (s.base == nullptr)
    {
        perror("Unable to allocate to memory space");
        exit(OVERFLOW);
    }
    else {
        s.top = s.base;
        s.stack_size = STACK_INIT_SIZE;
        return SUCCESS;
    }
}

//将新的元素推入栈中
Status Push(Stack& s, Elemtype e)
{
    if ((s.top - s.base) >= s.stack_size) {//检查是否栈存满
        //重新追加空间，大小为STACK_INCREMENT
        s.base = (Elemtype*)realloc(s.base, s.stack_size + STACK_INCREMENT);
        //检查时是否成功分配到了内存空间
        if (s.base == nullptr)
        {
            perror("Unable to allocate to memory space");
            exit(OVERFLOW);
        }
        //更新栈顶位置和栈大小(stack_size)记录
        s.top = s.base + s.stack_size;
        s.stack_size = s.stack_size + STACK_INCREMENT;
    }
    //*s.top++ = e;
    *s.top = e;
```

```
    s.top++;
    return SUCCESS;
}

//出栈
Status Pop(Stack& s, Elemtype& e)
{
    if (s.top == s.base)
    {
        return ERROR;
    }
    else
    {
        s.top--;
        e = *s.top;
        return SUCCESS;
    }
}

//判断栈是否为空
Status StackEmpty(Stack s)
{
    if (s.base == s.top)
        return TRUE;
    else
        return FALSE;
}

//创建二叉树节点
Node create()
{
    //std::cout << "create() is called!" << std::endl;
    Node n;
    DataType temp_var;
    temp_var = getchar();
    if (temp_var == '#')
        return nullptr;
    n = (Node)malloc(sizeof(TreeNode));
    if (n == nullptr)
        exit(OVERFLOW);
    n->data = temp_var;
    n->pre_order_counted_times = 0;
    n->in_order_isCounted = false;
    n->post_order_isCounted = false;
```

```
    n->left = create();
    n->right = create();
    return n;
}

//访问二叉树节点并输出储存的数据
void visit(Node n)
{
    std::cout << n->data;
}

//先序递归遍历
Status pre_order_traverse(Node n)
{
    if (n == nullptr)
        return NULL;
    visit(n);
    pre_order_traverse(n->left);
    pre_order_traverse(n->right);
    return SUCCESS;
}

//中序递归遍历
Status in_order_traverse(Node n)
{
    if (n == nullptr)
        return NULL;
    in_order_traverse(n->left);
    visit(n);
    in_order_traverse(n->right);
    return SUCCESS;
}

//后序递归遍历
Status post_order_traverse(Node n)
{
    if (n == nullptr)
        return NULL;
    post_order_traverse(n->left);
    post_order_traverse(n->right);
    visit(n);
    return SUCCESS;
}
```

```
SqQueue q;
Node root_node;

//遍历队列
Status queue_traverse(Node n)
{
    if (n == root_node && n->left == nullptr && n->right == nullptr)
    {
        visit(n);
        return SUCCESS;
    }
    visit(n);
    if (n->left != nullptr)
        EnterQueue(&q, n->left);
    if (n->right != nullptr)
        EnterQueue(&q, n->right);
    if (QueueEmpty(q) && n != root_node)
        return SUCCESS;
    DelQueue(&q, &n);
    queue_traverse(n);
}

void count_record()
{
    node_amount++;
}

int recursion_get_node_amount(Node n)//递归做法
{
    if (n == nullptr)
        return NULL;
    count_record();
    recursion_get_node_amount(n->left);
    recursion_get_node_amount(n->right);
    return SUCCESS;
}

//非递归先序遍历并统计节点数据
void pre_get_node_info(Tree t)
{
    Node n = t.root;
    Stack node_stack;
    InitStack(node_stack);
    while (true)
```

```
    {
        if (n == t.root)
        {

            if (t.root->left != nullptr && t.root->right != nullptr)
            {
                if (t.root->pre_order_counted_times == 0)
                {
                    max_elem = static_cast<int>(t.root->data);//在根节点初始化最
大值，最小值基准
                    min_elem = static_cast<int>(t.root->data);
                    degree_2_node_amount++;
                    visit(n);
                    node_amount++;
                    t.root->pre_order_counted_times++;
                    Push(node_stack, t.root);
                    n = t.root->left;
                    continue;
                }
                if (t.root->pre_order_counted_times == 1)
                {
                    t.root->pre_order_counted_times++;
                    Push(node_stack, t.root);
                    n = t.root->right;
                    continue;
                }
                if (t.root->pre_order_counted_times == 2)
                {
                    break;
                }
            }
            if (t.root->left != nullptr && t.root->right == nullptr)
            {
                if (t.root->pre_order_counted_times == 0)
                {
                    max_elem = static_cast<int>(t.root->data);//在根节点初始化最
大值，最小值基准
                    min_elem = static_cast<int>(t.root->data);
                    degree_1_node_amount++;
                    visit(n);
                    node_amount++;
                    t.root->pre_order_counted_times++;
                    Push(node_stack, t.root);
                    n = t.root->left;
```

```
                    continue;
                }
                if (t.root->pre_order_counted_times == 1)
                {
                    break;
                }
            }
            if (t.root->left == nullptr && t.root->right != nullptr)
            {
                if (t.root->pre_order_counted_times == 0)
                {
                    max_elem = static_cast<int>(t.root->data);//在根节点初始化最
大值，最小值基准
                    min_elem = static_cast<int>(t.root->data);
                    degree_1_node_amount++;
                    visit(n);
                    node_amount++;
                    t.root->pre_order_counted_times++;
                    Push(node_stack, t.root);
                    n = t.root->right;
                    continue;
                }
                if (t.root->pre_order_counted_times == 1)
                {
                    break;
                }
            }
            if (t.root->left == nullptr && t.root->right == nullptr)
            {
                max_elem = static_cast<int>(t.root->data);//最大/最小值皆为根节点
本身
                min_elem = static_cast<int>(t.root->data);
                leaf_node_amount++;
                visit(n);
                node_amount = 1;
                break;
            }
        }
        if (n->left != nullptr && n->right != nullptr && n != t.root)
        {
            if (n->pre_order_counted_times == 0)
            {
                if (static_cast<int>(n->data) > max_elem)
                    max_elem = n->data;
```

```
                min_elem = n->data;
            degree_2_node_amount++;
            visit(n);
            node_amount++;
            n->pre_order_counted_times++;
            Push(node_stack, n);
            n = n->left;
            continue;
        }
        if (n->pre_order_counted_times == 1)
        {
            n->pre_order_counted_times++;
            Push(node_stack, n);
            n = n->right;
            continue;
        }
        if (n->pre_order_counted_times == 2)
        {
            Pop(node_stack, n);
        }
    }
    if (n->left != nullptr && n->right == nullptr)
    {
        if (n->pre_order_counted_times == 0)
        {
            if (static_cast<int>(n->data) > max_elem)
                max_elem = n->data;
            if (static_cast<int>(n->data) < min_elem)
                min_elem = n->data;
            degree_1_node_amount++;
            visit(n);
            node_amount++;
            n->pre_order_counted_times++;
            Push(node_stack, n);
            n = n->left;
            continue;
        }
        if (n->pre_order_counted_times == 1)
        {
            Pop(node_stack, n);
            continue;
        }
    }
    if (n->left == nullptr && n->right != nullptr)
```

```
        {
            if (n->pre_order_counted_times == 0)
            {
                if (static_cast<int>(n->data) > max_elem)
                    max_elem = n->data;
                if (static_cast<int>(n->data) < min_elem)
                    min_elem = n->data;
                degree_1_node_amount++;
                visit(n);
                node_amount++;
                n->pre_order_counted_times++;
                Push(node_stack, n);
                n = n->right;
                continue;
            }
            if (n->pre_order_counted_times == 1)
            {
                Pop(node_stack, n);
                continue;
            }
        }
        if (n->left == nullptr && n->right == nullptr)
        {
            if (static_cast<int>(n->data) > max_elem)
                max_elem = n->data;
            if (static_cast<int>(n->data) < min_elem)
                min_elem = n->data;
            leaf_node_amount++;
            visit(n);
            node_amount++;
            Pop(node_stack, n);
        }
    }
}

//非递归中序遍历
void in_order_stack_traverse(Tree t)
{
    Stack s;
    InitStack(s);
    Node n = t.root;
    if (n->left == nullptr && n->right == nullptr)
    {
        visit(n);
```

```
        return;
    }
    while (true)
    {
        if (n->left != nullptr && !n->left->in_order_isCounted)
        {
            Push(s, n);
            n = n->left;
            continue;
        }
        else
        {
            if (!n->in_order_isCounted)
            {
                visit(n);
                n->in_order_isCounted = true;
            }
            if (n->right != nullptr && !n->right->in_order_isCounted)
            {
                Push(s, n);
                n = n->right;
                continue;
            }
            Pop(s, n);
        }
        if (StackEmpty(s))
        {
            if (n->left != nullptr && n->right != nullptr &&
n->left->in_order_isCounted &&
                n->right->in_order_isCounted)
                return;
            if (n->left != nullptr && n->right == nullptr &&
n->left->in_order_isCounted && n->in_order_isCounted == true)
                return;
            if (n->left == nullptr && n->right != nullptr &&
n->right->in_order_isCounted && n->in_order_isCounted == true)
                return;
        }
    }
}

//非递归方式后序遍历
void post_order_stack_traverse(Tree t)
{
```

```
    Node n;
    n = t.root;
    Stack s;
    InitStack(s);
    if (n->left == nullptr && n->right == nullptr)
    {
        visit(n);
        return;
    }
    while (true)
    {
        if (n->left != nullptr && !n->left->post_order_isCounted)
        {
            Push(s, n);
            n = n->left;
            continue;
        }
        else
        {
            if (n->right != nullptr && !n->right->post_order_isCounted)
            {
                Push(s, n);
                n = n->right;
                continue;
            }
            else
            {
                if (!n->post_order_isCounted)
                {
                    visit(n);
                    n->post_order_isCounted = true;
                }
                Pop(s, n);
            }
        }
        if (StackEmpty(s))
        {
            if (n->left != nullptr && n->right != nullptr &&
n->left->post_order_isCounted &&
                n->right->post_order_isCounted && n->post_order_isCounted)
                return;
            if (n->left != nullptr && n->right == nullptr &&
n->left->post_order_isCounted && n->post_order_isCounted)
                return;
```

```
            if (n->left == nullptr && n->right != nullptr &&
n->right->post_order_isCounted && n->post_order_isCounted)
                return;
        }
    }
}

//测试用例:
//Input:
//+**/A##B##C##D##E##
//InOrder
//A/B*C*D+E
//PostOrder
//AB/C*D*E+

int main()
{
    //初始化一颗树（先序创建）
    Tree test_tree;
    std::cout << "Tips: 以下采用先序的方式创建Binary Tree，使用\'#\'代表该分支的终
结" << std::endl;
    test_tree.root = create();


    //递归方法遍历
    std::cout << "递归方法的先序遍历的结果：" << std::endl;
    pre_order_traverse(test_tree.root);
    std::cout << std::endl;

    std::cout << "递归方法的中序遍历的结果：" << std::endl;
    in_order_traverse(test_tree.root);
    std::cout << std::endl;

    std::cout << "递归方法的后序遍历的结果：" << std::endl;
    post_order_traverse(test_tree.root);
    std::cout << std::endl << std::endl;

    //非递归方法遍历
    std::cout << "非递归方法的先序遍历的结果：" << std::endl;
    pre_get_node_info(test_tree);
    std::cout << std::endl;

    std::cout << "非递归方法的中序遍历的结果：" << std::endl;
    in_order_stack_traverse(test_tree);
```

```
    std::cout << std::endl;

    std::cout << "非递归方法的后序遍历的结果：" << std::endl;
    post_order_stack_traverse(test_tree);
    std::cout << std::endl << std::endl;


    //队列按层次遍历
    InitQueue(&q);
    root_node = test_tree.root;
    std::cout << "使用队列按层次遍历的结果：" << std::endl;
    queue_traverse(test_tree.root);
    std::cout << std::endl << std::endl;


    //输出节点统计信息
    std::cout << "利用递归方法查找到的二叉树的节点总数为：" << node_amount <<
std::endl;
    std::cout << "非递归方法查找到的二叉树的节点总数为：" << node_amount <<
std::endl;
    std::cout << "非递归方法查找到的二叉树度为2的节点总数为：" <<
degree_2_node_amount << std::endl;
    std::cout << "非递归方法查找到的二叉树度为1的节点总数为：" <<
degree_1_node_amount << std::endl;
    std::cout << "非递归方法查找到的二叉树叶子节点总数为：" << leaf_node_amount <<
std::endl;
    std::cout << "二叉树中数值最小的元素数值为：" << static_cast<int> (min_elem) <<
'\t' << \
         "转换为原始类型即：" << static_cast<DataType>(min_elem) << std::endl;
    std::cout << "二叉树中数值最大的元素数值为：" << static_cast<int> (max_elem) <<
'\t' << \
         "转换为原始类型即：" << static_cast<DataType>(max_elem) << std::endl;

    return 0;
}
```